

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 878 880 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
18.11.1998 Patentblatt 1998/47

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **H01S 3/06**, H04B 10/105

(21) Anmeldenummer: 98105826.6

(22) Anmeldetag: 31.03.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 25.06.1997 CH 1540/97

(71) Anmelder: OERLIKON CONTRAVES AG  
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder:

• Mayor, Jean-Michel  
1400 Yverdon-les-Bains (CH)

• Rochat, Etienne

1400 Yverdon (CH)

• Haroud, Karim

1512 Chavannes sur Moudon (CH)

(74) Vertreter:

Hotz, Klaus, Dipl.-El.-Ing./ETH

c/o OK pat AG,

Patente Marken Lizenzen,

Hinterbergstrasse 36,

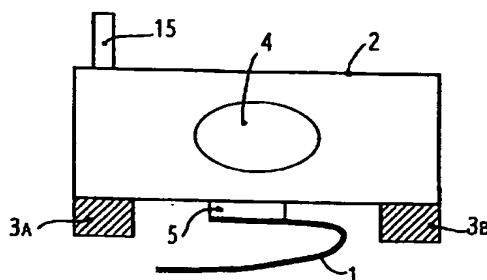
Postfach 5254

6330 Cham (CH)

(54) **Verfahren und Anordnung zum weltraumgestützten Betrieb von als Lichtwellenleiter ausgeführten quantenoptischen Verstärkern**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum weltraumgestützten Betrieb von als Lichtwellenleiter ausgeführten quantenoptischen Verstärkern unter der Berücksichtigung der im Weltraum anzutreffenden besonderen Bedingungen. Ein mit Stickstoff gefülltes Verstärkergehäuse 2 besitzt eine Aussparung, in welcher eine planparallele Quarzglasplatte 4 eingefügt ist, durch welche Lichtstrahlen in

das Gehäuse ein- und austreten können. Das Verstärkergehäuse 2 ruht auf wärmeisolierenden Stützen 3a, 3b und wird durch ein Peltierelement 5 temperaturstabilisiert. Das Verstärkergehäuse 2 wird mit Stickstoff gefüllt, um erdähnliche Betriebsbedingungen zu erreichen.

**Fig. 1**

EP 0 878 880 A1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum weltraumgestützten Betrieb von als Lichtwellenleiter ausgeführten quantenoptischen Verstärkern unter der Berücksichtigung der im Welt-  
raum anzutreffenden besonderen Bedingungen.

Die bisherige Nutzung von Satelliten für Kommunikations- und Navigationszwecke ist hauptsächlich durch die Verwendung einzelner oder Weniger Satelliten geprägt, welche über Mikrowellen-Funkkanäle lediglich mit dem erdgebundenen Betreiber bzw. Nutzer in Verbindung stehen. In Zukunft werden aber vermehrt grössere Gruppen von Satelliten für ein und denselben Zweck in die Erdumlaufbahn gebracht werden wie zum Beispiel die teilweise in der Realisierungsphase befindlichen Kommunikationssysteme auf der Basis von in niedriger Höhe die Erde umlaufenden Satelliten. Deren beschränkte Sichtbarkeit erfordert das permanente Weiterreichen eines erdgebundenen Nutzers zwischen einer Vielzahl kontinuierlich passierender Satelliten.

Die Aufrechterhaltung von Kommunikation über den Sichtbarkeitsbereich eines Satelliten hinaus geschieht durch Informationstransport zwischen den einzelnen Satelliten eines solchen Systems, welche aus Gewichts- und Platzgründen am vorteilhaftesten auf optischem Wege erfolgt. Hierzu sind im Vergleich zur faseroptischen Kommunikation erhebliche optische Leistungen erforderlich, wenngleich diese bezogen auf die für eine Mikrowellenverbindung erforderliche Leistung noch relativ niedrig sind.

Aufgrund der hohen Kohärenz ihrer Lichtemission sind diodengepumpte Festkörperlaser vorteilhaft, sofern besonders energieeffiziente kohärente Übertragungsverfahren zur Anwendung kommen. Die hierbei erforderliche externe Modulation der Phase des vom Laser emittierten Lichts muss bei hoher Modulationsbandbreite mittels eines in Form eines optischen Wellenleiters ausgeführten Modulators vorgenommen werden, welcher nicht mit hohen optischen Leistungen betrieben werden kann. Der Übergang von einem einen kollimierten Strahl emittierenden Festkörperlaser in eine Wellenleiterstruktur gilt als kritisch und verlustbehaftet, wodurch eine zusätzliche Leistungsreserve im nachfolgenden quantenoptischen Verstärker nötig ist. Dessen Ausführung als Festkörpervverstärker beinhaltet weitere technische Probleme.

So ist zur hohen Ausnutzung der von Diodenlasern erzeugten optischen Pumpleistung für eine Vielzahl von Durchgängen des zu verstärkenden Lichts durch die optisch gepumpten Zonen des Festkörpers zu sorgen, was zu relativ grossen, massereichen und beschleunigungsempfindlichen Apparaturen führt. Ein mechanisch temperaturstabiler beschleunigungsresistenter Aufbau ist erforderlich, um die Überlappung von Pumplicht- und Signallichtstrahlen gegen äussere Einflüsse zu konservieren.

Aufgabe der nachfolgend beschriebenen Erfindung

ist es daher, die erwähnten Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden und die benötigte Lichtleistung mittels eines effizienteren, platz- sowie gewichtssparenden quantenoptischen Verstärkers zu erzeugen.

Grundgedanke der Lösung der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung faseroptischer Lichtwellenleiter als das quantenoptisch verstärkende Medium beinhaltende Struktur. In Abweichung zu den in der faseroptischen Kommunikation Verbreitung gefunden habenden mit Erbium dotierten Fasern wird ein mit Neodym dotiertes Material verwendet, wodurch wie im als zu verstärkende Quelle verwendeten Neodym-YAG-Festkörperlaser ein Vier-Niveaus-System entsteht, das die Absorption von Signallicht in mangelhaft optisch gepumpten Bereichen des verstärkenden Mediums unterbindet.

Der optisch verstärkende Lichtwellenleiter wird mittels elastischer Bänder an der Wand eines mit Stickstoff gefüllten Gehäuses befestigt, welches wahlweise auch wesentliche elektronische Komponenten wie z. B. Laserdioden zum optischen Pumpen des Verstärkers beinhalten kann.

Die Stickstoff-Füllung dient der Erzeugung erdähnlicher Betriebsbedingungen. So kann, sofern fehlende Konvektion dies gestattet, lokal entstehende Wärme abgeleitet werden und das Ausgasen von Komponenten im Vakuum verhindert werden. Schädliche Ausgasungen werden mittels entsprechender Agenzien gebunden.

Optische Leistung kann in Form kollimierter Strahlen durch aus planparallelen Platten bestehende Quarzglasfenster in das Gehäuse eingestrahlt sowie herausgeführt werden, wahlweise ist dies auch über gasdicht durch die Gehäusewandung geführte Lichtwellenleiter möglich. Sofern planparallele Platten als Fenster vorgesehen sind, welche in besonders leichten Ausführungen durch eine optische Linse ersetzt sind, ist je nach Ausführungsform die Durchstrahlung im Brewsterwinkel zur Elimination von Reflexionen in der verwendeten Polarisationsrichtung vorgesehen. Der verwendete verstärkende Lichtwellenleiter wird unabhängig vom Betriebszustand der gesamten optischen Übertragungseinrichtung ständig von Pumplicht sowie dem aus der Absorption des Pumplichts resultierenden spontan emittierten Licht auf der Wellenlänge des Signallichts oder verstärktem Signallicht durchströmt. Hierdurch ist eine schnelle Ausheilung von Farbzentren gewährleistet, welche durch die in den Satellitenkörper eindringende Partikelstrahlung verursachte Bremsstrahlung erzeugt werden (Radiation hardening of optical fibre links by photobleaching with light of shorter wavelength, H. Henschel et al., IEEE Transact. on Nuclear Science, 1996, p. 1050).

Farbzentren erhöhen im allgemeinen die optische Dämpfung von Lichtwellenleitern erheblich. Die Polarisierung des den optischen Verstärker verlassenden Lichts wird durch ein mittels Spulen erzeugtes längs der Faserrichtung wirkendes Magnetfeld elektronisch kon-

trolliert. In einem besonders kompakten Aufbau ist vorgesehen, den verstärkenden Lichtwellenleiter in beiden Ausbreitungsrichtungen zu nutzen, wobei das zu verstärkende Signallicht an einem Ende des Lichtwellenleiters ein seiner dortigen Polarisierung um 90 Grad gedreht reflektiert wird und orthogonal polarisiert zurückläuft (Single-polarisation fibre amplifier, I. N. Duling, R. D. Esman, *El. Lett.*, 1992, p. 1126). Eingang und Ausgang des Verstärkers sind am anderen Ende des Lichtwellenleiters durch einen Polarisationsstrahlteiler getrennt. Zur Drehung der Polarisierung findet ein in bestimmter Weise in einem oder mehreren überlagerten magnetischen Feldern befindlicher Lichtwellenleiter Verwendung (All-fibre faraday rotator made by a multi-turn figure of eight coil with matched birefringence V. Annovazzi-Lodi et al., *IEEE JLT*, 1995, p. 2349), der an einem Ende eine reflektierende Schicht aufweist. In diesem Lichtwellenleiter ist in einer besonderen Ausführung der quantenoptische Verstärker integriert. Der Lichtwellenleiter selbst besteht im Querschnitt aus mehreren Schichten, wobei eine Kernschicht nur einen elektrodynamischen Mode des Signallichtes führt, während eine weitere Schicht zusammen mit einer Mantelschicht einen vielmodigen Wellenleiter bildet, in welchem das Pumplicht mit hoher Effizienz eingekoppelt werden kann. Dessen Einkopplung erfolgt über kollimierte Strahlen einzelner Laserdioden, die unter Ausnutzung beider orthogonalen Polarisationsrichtungen überlappend, sonst aber nicht überlappend in enger Nachbarschaft zueinander in den mehrmodigen Wellenleiter geführt werden, wodurch störende Überlagerungseffekte weitgehend vermieden werden.

Durch eine grössere Anzahl an Pumplicht generierenden Laserdioden können diese bei reduzierter Leistung mit deutlich erhöhter Lebensdauer betrieben werden, da Partikel- und Bremsstrahlung in den halbbleitenden Zone der Laserdioden zusätzliche Ladungsträger freisetzen, die bei normalem Betrieb schädliche Stromdichtespitzen auslösen (Effects of gamma radiation on high-power infrared and visible Laser diodes, M. C. Hastings et al., *IEEE Trans. on nuclear science*, 1996, p. 2141). Weiter besteht eine bessere Anpassung der niedrigen Betriebsspannung einer einzelnen Laserdiode an das Bordspannungsniveau des Satelliten, indem diese in Reihe geschaltet werden. Die Regelung der Lichtleistung einzelner Dioden erfolgt dabei durch die Regelung eines parallel zur einzelnen Diode fließenden Kurzschlussstroms. Als Vorteile ergeben sich zum einen das gegenüber einem Festkörper-Verstärker niedrigere Gewicht, die Kompatibilität zu in Wellenleiterform aufgebauten elektrooptischen Modulatoren.

Die vorteilhafte, effiziente Ausnutzung des Pumplichts ist durch die perfekte Überlappung desselben mit dem zu verstärkenden Licht über die sehr lange Strecke des Lichtwellenleiters gewährleistet. Die hohe Ausnutzung des Pumplichts ist zusätzlich durch die hohe Intensität des zu verstärkenden Lichts im Wellenleiter und ein damit hohen Rate stimulierter Emissionen

gewährleistet. In einer mit Faraday-Rotator betriebenen Anordnung sind ausserdem noch die Stabilität der Polarisierung und die wegen doppelter Ausnutzung des Lichtwellenleiters um etwa die Hälfte kürzere Länge desselben zu nennen. Zusätzlich wird die Inversion beider orthogonaler Polarisationsrichtungen ausgenutzt, was neben einer weiteren Effizienzsteigerung ein verhältnismässig geringes Mass an störender spontaner Emission bewirkt.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen und diesen zu entnehmenden Merkmalen -für sich und/oder in Kombination-, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels.

Es zeigen:

- Fig. 1 Eine Frontansicht eines mit Stickstoff gefüllten Verstärkergehäuses,
- Fig. 2a ein erstes erfindungsgemässes Ausführungsbeispiel in Form eines geöffneten Verstärkergehäuses,
- Fig. 2b ein zweites erfindungsgemässes Ausführungsbeispiel in Form eines geöffneten Verstärkergehäuses,
- Fig. 2c ein drittes erfindungsgemässes Ausführungsbeispiel in Form eines geöffneten Verstärkergehäuses,
- Fig. 3 eine Ausführungsbeispiel eines Faraday-Rotators,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Brechzahlprofil eines in dem quantenoptischen Verstärker verwendeten Lichtwellenleiters,
- Fig. 5a eine Anordnung zur elektronischen Regelung der Polarisierung einer sich in einem Lichtwellenleiter fortpflanzenden Lichtwelle,
- Fig. 5b eine Vorrichtung zur Einstellung der Doppelbrechung in Lichtwellenleiterschleifen,
- Fig. 6 eine Anordnung zur elektrischen Speisung von pumplichterzeugenden Laserdioden,
- Fig. 7 ein vereinfachtes Schaltbild eines Regelkreises zur Kontrolle der elektrischen Speisung einer Laserdiode.

Die in Fig. 1 gezeigte Frontansicht eines mit Stickstoff gefüllten Verstärkergehäuses 2 besitzt eine Aussparung, in welcher eine planparallele Quarzglasplatte 4 eingefügt ist, durch welche Lichtstrahlen in das Gehäuse ein- und austreten können. Das Verstärkergehäuse 2 ruht auf wärmeisolierenden Stützen 3a, 3b und wird durch ein Peltierelement 5 temperaturstabilisiert, dessen nicht mit dem Verstärkergehäuse 2 verbundene Seite mit einem wärmeleitfähigen Band 1 mit einer Wärme- bzw. Kältesenke verbunden ist. Das Verstärkergehäuse 2 wird mit Stickstoff oder einem Gas mit vergleichbar günstigen Eigenschaften gefüllt, um erdähnliche Betriebsbedingungen zu erreichen. Verwiesen

sei auf Wärmeabfuhr sowie Ausgasung aus verschiedenen Materialien im Vakuum.

Ein paralleler Betrieb eines im Vakuum befindlichen Verstärkers ist als Langzeitexperiment denkbar, die beschriebene Anordnung besitzt jedoch den Vorteil grösserer Sicherheit angesichts noch nicht reichlich vorhandener Erfahrung mit dem Langzeitbetrieb faseroptischer Elemente im Weltraum. Zur Minimierung der mechanischen Belastung des Verstärkergehäuses 2 kann die Gasfüllung unter der Hälfte des auf dem Erdboden anzutreffenden Drucks erfolgen. Es ist aber auch eine Füllung unter Umgebungsdruck vorgesehen, die während der Aufstiegsphase eines Satelliten über ein Überdruckventil 15 bis auf einen vorher festgelegten Druck abgelassen wird.

Das in Fig. 2a dargestellte zweite Ausführungsbeispiel des geöffneten Verstärkergehäuses 2 verdeutlicht mittels der in ihr gelagerten Komponenten die Funktionsweise der Anordnung. Ein kollimierter Lichtstrahl 9a aus einem als Lichtquelle dienenden -der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellten- Festkörperlaser passiert undeflektiert einen Polarisationsstrahlteiler 7, um über einen weiteren Ausbreitungsweg 6 durch die Quarzglasplatte 4 hindurch sowie eine erste Linse 10 in einen Lichtwellenleiter 12 gekoppelt zu werden, welcher durch ein elastisches Band 14 am Gehäuseboden fixiert ist. Der Lichtwellenleiter 12 enthält das verstärkende Medium, welches durch ein anderes Ende des Lichtwellenleiters mittels eines Pumplichtstrahls 18 optisch gepumpt wird. Die Einkoppelung des Pumplichtstrahls 18 geschieht über eine zweite Linse 19 durch eine Schicht 17 am Ende des durch eine Vorrichtung 16 gezogenen Lichtwellenleiters 12, welche für das aus dem Festkörperlaser stammende verstärkte Licht reflektierend, für das Pumplicht hingegen nicht reflektierend wirkt. Die Vorrichtung 16 bewirkt bei zweimaligem Durchgang des zu verstärkenden Lichts eine Drehung der Polarisation um 90 Grad, welche sich auf den bei der Linse 10 liegenden Eingang des Lichtwellenleiters 12 reproduziert, weshalb das verstärkte Licht den Verstärker über den Ausbreitungspfad 6 und den Polarisationsstrahlteiler 7 als deflektierter Strahl 11a verlässt. Ein Winkel 8 des Ausbreitungspfades 6 zur Oberfläche der Quarzglasplatte 4 kann für den einlaufenden Strahl 9a den Wert des Brewsterwinkels annehmen, um Reflexionen zu vermeiden. Der Polarisationsstrahlteiler 7 kann auch in Form eines an den Lichtwellenleiter 12 angefügten polarisationsselektiven faseroptischen Kopplers ausgeführt sein, wodurch das direkte Anfügen eines in Wellenleiterform ausgeführten Phasenmodulators ermöglicht wird.

Eine solche Modifikation ist in Fig. 2b zu sehen. Durch das Führen der kollimierten Lichtstrahlen 9a und 11a (aus Fig. 2a) in polarisationserhaltenden Lichtwellenleitern 9b und 11b ergibt sich eine weitere Vereinfachung des Aufbaus, zumal ein zur Anwendung kommender polarisationsselektiver faseroptischer Koppler 13 leichter und platzsparender auszuführen ist als

der Polarisationsstrahlteiler 7. Der Koppler 13 besteht im wesentlichen aus zwei dicht aneinander geführten stark doppelbrechenden und folglichweise polarisationserhaltenden Lichtwellenleitern, in welchen in einer bestimmten Polarisationsrichtung geführtes Licht in den jeweils benachbarten Lichtwellenleiter übergekoppelt wird, in der hierzu orthogonalen Polarisationsrichtung hingegen unterbleibt. Der Grund hierzu liegt in im Falle von Kopplung angeglichenen Phasengeschwindigkeiten beider Lichtwellenleiter, welche bei hierzu orthogonaler Polarisation stark zwischen beiden Wellenleitern differieren. So wird entsprechend polarisiertes, im Wellenleiter 9b in Richtung des Verstärkers transportiertes Licht im Koppler 13 nicht übergekoppelt und in den das verstärkende Medium beinhaltenden Lichtwellenleiter 12 geführt. Die aus der den Lichtwellenleiter 12, die Vorrichtung 16 und die Schicht 17 umfassenden Anordnung reflektierte Lichtwelle wird in entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung in den Koppler 13 geführt, koppelt aber jetzt in Folge ihrer nunmehr orthogonalen Polarisation auf den wegführenden Lichtwellenleiter 11b über.

Nach Fig. 2c kann der Lichtwellenleiter 12 auch im Vakuum unter thermisch kontrollierbaren homogenen Verhältnissen betrieben werden. Hierzu wird der in ein litzenartiges Geflecht von aus sehr dünnen und wärmeleitfähigen Material bestehenden Fäden eingesponnene Lichtwellenleiter 12 auf einen wärmeleitfähigen Körper 104 gewickelt und mit einer dem Körper 104 in der Form angepassten bandartigen Körper 106 fixiert. Die Temperatur des Körpers 104 kann mit entsprechenden Mitteln geregelt werden. Eine zusätzliche Möglichkeit stellt das Überwickeln des höchstens mit einer dünnen Schutzschicht versehenen, auf einen abgerundeten Körper gewickelten Lichtwellenleiters 12 mit mehreren Lagen dünnen Teflonbandes dar, welches aufgrund seiner Kohäsion ohne Klebmittel aneinanderhaftet.

Die Vorrichtung 16 zur Rotation der Polarisation des zu verstärkenden Lichtes ist in Fig. 3 dargestellt und besteht im wesentlichen aus einer Anzahl in Achterform ausgeführten Windungen des Lichtwellenleiters 12, welche sich in der dargestellten Orientierung in einem permanenten zwischen Polen 22 eines Permanentmagneten vorhandenen Magnetfeld 24 befinden. Durch kontrolliertes Einführen von Doppelbrechung und dadurch sich wiederholende Polarisationsdrehungen des durchlaufenden Lichtes in Phase zum im Verhältnis zur Ausbreitungsrichtung wechselweise auftretenden Magnetfeld 24 erfolgt eine kontinuierliche Farady-Rotation, die pro Durchgang 45 Grad beträgt und sich bei reflektiertem Licht auf 90 Grad addiert. Ein zusätzlicher Elektromagnet 23 dient zum nachträglichen Abgleich der Vorrichtung während der Mission durch Veränderung des Magnetfeldes 24.

Fig. 4 zeigt im Querschnitt Zonen unterschiedlicher Brechzahl des in der Anordnung nach Fig. 2a zur Anwendung kommenden Lichtwellenleiters 12, der

innerhalb einer kreisrunden Zone 26 die höchste optische Brechzahl aufweist. Diese wird von einer weiteren Zone 28 umschlossen, deren Brechzahl nur unwesentlich niedriger ist, so dass beide Zonen 26 und 28 trotz ihrer relativ hohen Ausdehnung nur einen elektrodynamischen Mode des zu verstärkenden Lichts führen. Eine beide Zonen 28 und 26 umschließende Zone 30 besitzt eine wesentlich niedrigere optische Brechzahl, so dass zusammen mit den Zonen 26 und 28 ein mehrmodiger Lichtwellenleiter gebildet wird, in welchem das Pumplicht geführt wird. Dieses durchflutet daher die das gewinnerzeugende Medium beinhaltende Zone 26, welche das zu verstärkende Licht führt.

Fig. 5a zeigt anhand eines Versuchsaufbaus ein weiteres Prinzip zur Kontrolle der Polarisierung einer sich in einem Lichtwellenleiter 38 fortpflanzenden Lichtwelle, die durch einen Laser 32 erzeugt wird. Mittels eines teildurchlässigen Spiegels 34 wird das vom Laser 32 emittierte Licht in zwei Teilstrahlen zerlegt, wobei ein Teil dieses Lichtstrahls durch einen akustooptischen Modulator 40 geleitet wird, wobei dessen optische Frequenz um die Frequenz des Oszillators 54 verschoben wird. Ein zweiter Teil des Lichtstrahls wird in einen Lichtwellenleiter 38 gekoppelt, welcher sich in zwei Spulen 48 und 50 windet, die von elektrischen Spulen 52 umfasst sind. Diese werden über Stromquellen 56 gespeist, wodurch in den Spulen 48 und 50 in Ausbreitungsrichtung der eingekoppelten Lichtwelle ein Magnetfeld entsteht, welches Faraday-Rotation bewirkt. Anschliessend erfolgt nach der Auskopplung aus dem Lichtwellenleiter 38 über eine Linse 70 die Zusammenführung des so entstandenen Lichtstrahls mit dem frequenzverschobenen ersten Teilstrahl, welcher über einen Lichtwellenleiter 44 herangeführt wird, mittels eines teildurchlässigen Spiegels 72. Beide Teilstrahlen werden in einem Photodetektor 68 miteinander überlagert detektiert, wobei bei identischer Polarisierung eine elektrische Welle entsteht, welche die Frequenz des Oszillators 54 besitzt. Nach Passieren eines diese Frequenz bevorzugt verstärkenden Verstärkers 66 und eines Hüllkurvendetektors 64 wird die von diesem erzeugte Gleichspannung in einen Analog-Digital-Wandler geführt, dessen Messwerte einen Mikroprozessor 60 speisen. Dessen Ausgangsdaten beeinflussen über Digital-Analog-Wandler 58 die Sollwerte von die elektrischen Spulen 52 speisenden Stromquellen 56 und damit über das sich ergebende Ausmass der Faraday-Rotation die Polarisierung der den Lichtwellenleiter 38 verlassenden Lichtwelle.

Eine Methode zur Manipulation der Polarisierung einer sich in beiden zueinander orthogonalen Moden eines Lichtwellenleiters ausbreitenden Lichtwelle ist die Drehung zweier als Ersatz für die bei sich im freien Raum ausbreitenden kollimierten Lichtstrahlen Verwendung findenden Viertelwellenplatten eingesetzten Lichtwellenleiterschlaufen. Hierbei wird die sich bei der Windung des Lichtwellenleiters ergebende stärkere Doppelbrechung des Lichtwellenleiters ausgenutzt, um

die Lichtwellen in beiden zueinander orthogonalen Moden in ihrer Phase zueinander um 90 Grad zu verschieben.

Zur genauen Einstellung oder Kontrolle der Doppelbrechung kann zusätzlich seitlich auf die drehbare Schlaufe Druck ausgeübt werden. Fig. 5b zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Ein auf einer Grundplatte 108 aufliegender, um einen mittels einer Gewindeschraube 110 auf derselben montierten Zylinder 112 gewundener Lichtwellenleiter 118 wird mittels eines weiteren zylindrischen Körpers 116 mechanischem Druck ausgesetzt, welcher sich aus der zwischen einer weiteren zur Befestigung des Körpers 116 verwendeten Zylinderschraube 114 und dem Körper 116 befindlichen gespannten Spiralfeder 120 ableitet. Es kann natürlich mehr als nur eine Windung des Lichtwellenleiters 118 auf den Körper 112 aufgebracht werden. Statt mit einer Spiralfeder kann der mechanische Druck auch mittels elektromechanischer Mittel erzeugt werden. So ist neben elektromagnetischen Vorrichtungen ein aus piezoelektrischem Material gefertigter Körper 112 vorgesehen, welcher sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung in Richtung der Gewindeschraube 114 in seiner Ausdehnung ändert.

Fig. 6 zeigt ein Blockschaltbild einer Stromversorgung und optischen Leistungskontrolleinheit für die Pumplichtleistung erzeugenden Laserdioden des quantenoptischen Verstärkers. Die Laserdioden sind in Schaltungsblöcke 84 integriert, welche von einem in einer Quelle 82 erzeugten Strom durchflossen werden. Da die benötigte Stromstärke recht hoch, die Betriebsspannung der Blöcke hingegen relativ niedrig ist, erweist sich die Reihenschaltung aller betriebenen oder redundant vorhandenen Schaltungsblöcke 84 in Anpassung an die Satelliten-Bordspannung als die energetisch günstigste Methode. Dies gilt sowohl in Bezug auf die erzeugte Abwärme als auch den zu minimierenden elektrischen Energieverbrauch. Um den Stromfluss durch die einzelnen in den Schaltungsblöcken 84 integrierten Laserdioden trotz des festen von der Quelle 82 ausgehenden Stroms regulieren zu können, wird je nach Bedarf ein Teil des den einzelnen Schaltungsblock 84 durchfliessenden Stroms in diesem um die Laserdiode herumgeleitet. Die Regelung des effektiv durch die einzelnen Laserdioden fliessenden Stroms erfolgt über eine Kontrolleinheit 80, welche durch eine Photodiode 88 die von allen Laserdioden erzeugte Lichtleistung misst und über in den einzelnen Schaltungsblöcken 84 direkt bei den einzelnen Laserdioden angebrachte Photodioden Daten über die Lichtleistungen der einzelnen Laserdioden erhält. Es ist weiterhin vorgesehen, in einem oder mehreren besagter Schaltungsblöcke die Laserdiode durch die Anschlüsse von für die Polarisationskontrolle vorgesehenen Spulen zu ersetzen, wobei eine oder mehrere Photodioden zusammen mit Polarisationsfiltern den entsprechenden Ist-Wert liefern.

In Fig. 7 ist der Schaltungsblock 84 in Form eines Reglers dargestellt, d. h., dass in diesem Fall keine

Informationen über den Betriebszustand einer Laserdioden 98 in die Kontrolleinheit 80 fließen. Der Sollwert des durch die Laserdioden 98 erzeugten Photostroms wird in Form einer elektrischen Spannung auf den nicht-invertierenden Eingang 92 eines Operationsverstärkers 90 gegeben, wobei ein invertierender Eingang 94 dieses Operationsverstärkers den Ist-Wert des in einer geeignet beschalteten Photodiode 102 erzeugten Photostroms in Form einer elektrischen Spannung erhält. Der Abgleich von Ist- und Sollwert führt zu einer Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 90, die mittels eines entsprechend beschalteten Transistors 100 in einen hierzu proportionalen den Anschlüsse der Laserdioden 98 überbrückenden Kurzschlussstrom führt. Ein Kurzschluss der Laserdioden 98 bewirkt lediglich ein Hochregeln des durch den Transistor fließenden Stroms, während ein Ausfall der Leitfähigkeit der Laserdioden 98 ebenfalls wegen des fehlenden Photostroms zu einem Hochregeln des durch den Transistor 100 fließenden Stroms führt. Ein totaler Ausfall dieser beiden Strompfade wird durch die hierzu parallele Serienschaltung von Halbleiterdioden 96 abgefangen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum weltraumgestützten Betrieb von als Lichtwellenleiter ausgeführten quantenoptischen Verstärkern  
dadurch gekennzeichnet, dass  
dem verwendeten Lichtwellenleiter (12) permanent hinreichend wenigstens soviel Lichtleistung zugeführt wird, dass jeweils die durch Bremsstrahlung entstehenden Farbzentren ausgebleicht werden.
2. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
  - der Lichtwellenleiter (12) vom zu verstärkenden Licht in beiden Richtungen durchlaufen wird,
  - ein Ende des Lichtwellenleiters mit einer Schicht (17) bedeckt ist, die für das zu verstärkende Licht reflektiv wirkt, Pumplicht (18) hingegen reflexionsfrei passieren lässt,
  - die Reflexion des zu verstärkenden Lichts von einer mittels Faraday-Rotation bewirkten Polarisationsdrehung um 90 Grad begleitet wird,
  - der erforderliche Faraday-Rotator durch Windung des Lichtwellenleiters (12) oder durch Führung eines Teils desselben in einem Magnetfeld hergestellt wird,
  - die Separierung von in den Verstärker ein- und ausfließendem zu verstärkendem Lichtes (9a, 11a) durch einen Polarisationsstrahlteiler (7) oder ähnliche geeignete Mittel erfolgt.
3. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
  - der Lichtwellenleiter (12) vom zu verstärkenden Licht in beiden Richtungen durchlaufen wird,
  - ein Ende des Lichtwellenleiters mit einer Schicht (17) bedeckt ist, die für das zu verstärkende Licht reflektiv wirkt, Pumplicht (18) hingegen reflexionsfrei passieren lässt,
  - die Reflexion des zu verstärkenden Lichts von einer mittels Faraday-Rotation bewirkten Polarisationsdrehung um 90 Grad begleitet wird,
  - der erforderliche Faraday-Rotator durch Windung des Lichtwellenleiters (12) oder durch Führung eines Teils desselben in einem Magnetfeld hergestellt wird,
  - einen polarisationsselektiven faseroptischen Koppler (13) zur Separierung von in den Verstärker ein- und ausfließenden zu verstärkenden Lichtes (9b, 11b), aufweist,
4. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach Anspruch 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass
  - der Lichtwellenleiter (12) von einem litzenartigen dünnen Geflecht umspinnen und auf einem wärmeleitfähigen Körper (104) aufgewickelt ist.
5. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach Anspruch 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass
  - der Lichtwellenleiter (12) mit einer dünnen Schutzschicht, vorzugsweise Teflon, ummantelt und als mehrlagige Wicklung ausgeführt ist.
6. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass
  - Mittel (54, 64, 58, 60) zur Kontrolle der Polarisation der sich fortpflanzenden Lichtwelle im Lichtwellenleiter (38) vorgesehen sind.
7. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass

- Mittel (116, 112, 108, 114, 116) zur Kontrolle und Einstellung der Doppelbrechung der sich fortpflanzenden Lichtwelle, mittels mechanischer Druckaufbringung, im Lichtwellenleiter (118) vorgesehen sind.

5

8. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach einem der vorangehenden Ansprüche,

10

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Lichtwellenleiter (12, 38, 118) in einem gasdicht schliessenden Gehäuse (2) untergebracht ist, eine Gasfüllung aufweist, die vorzugsweise Stickstoff ist.

15

9. Anordnung eines als Lichtwellenleiter ausgeführten, im Weltraum betreibbaren quantenoptischen Verstärkers nach Anspruch 8,

20

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- der Lichtwellenleiter (12, 38, 118) in einem gasdicht schliessenden Gehäuse (2) untergebracht ist, dessen Gasfüllung einen hälftigen Erdatmosphärendruck aufweist.

25

30

35

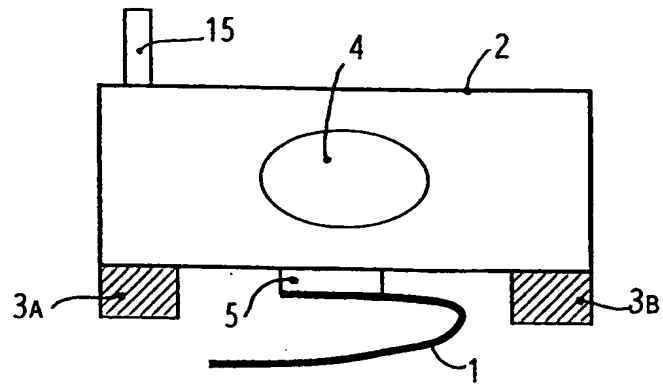
40

45

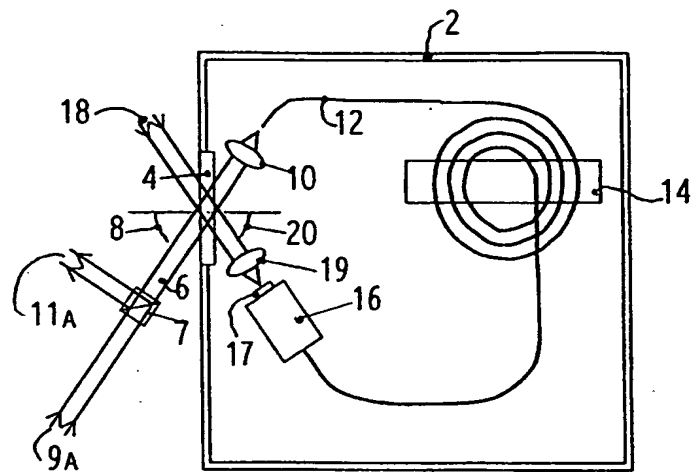
50

55

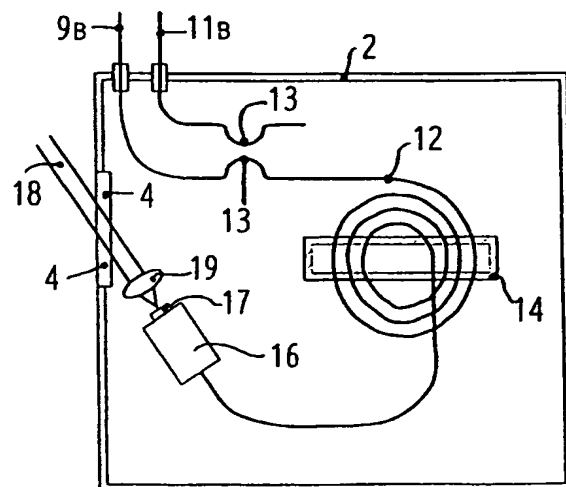
**Fig. 1**



**Fig. 2a**

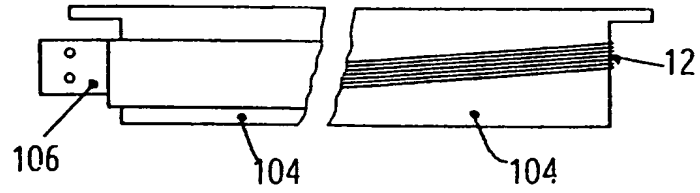


**Fig. 2b**

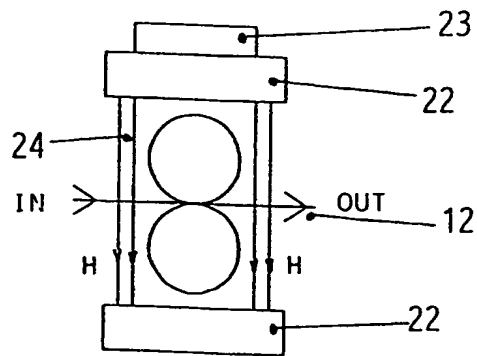




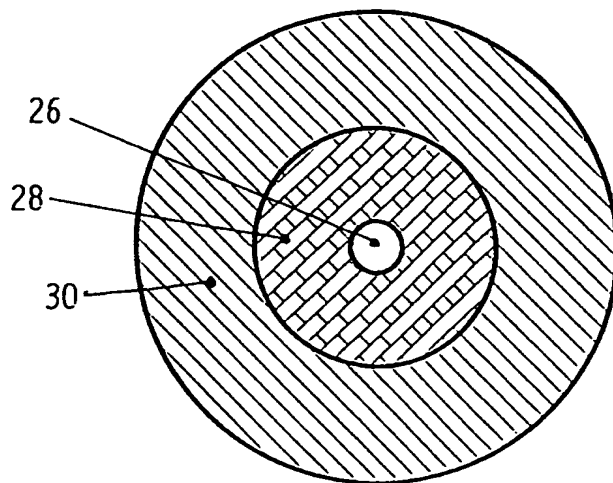
**Fig. 2c**

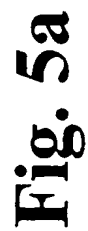


**Fig. 3**



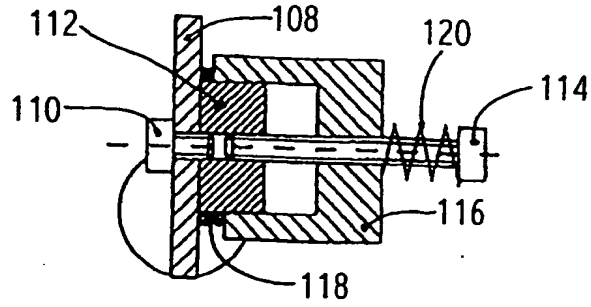
**Fig. 4**



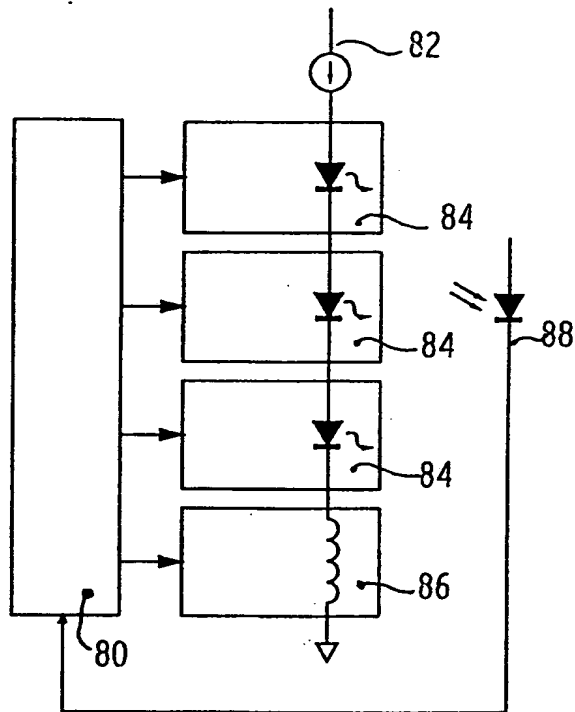


**Fig. 5a**

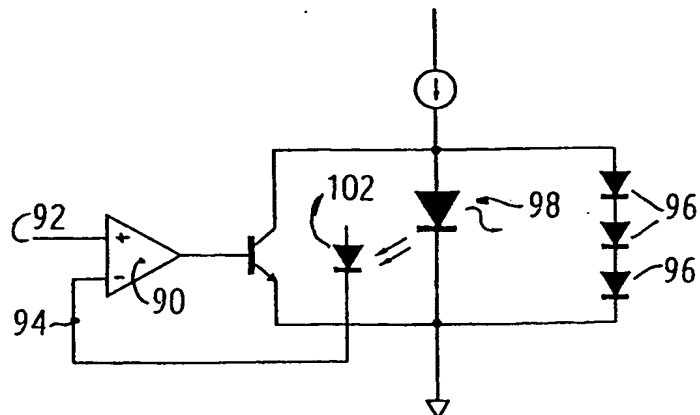
**Fig. 5b**



**Fig. 6**



**Fig. 7**





Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 98 10 5826

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	GOLTSOS W C: "Radiation-induced loss studies in Er-doped fiber amplifier systems" FREE-SPACE LASER COMMUNICATION TECHNOLOGIES VIII, SAN JOSE, CA, USA, 30-31 JAN. 1996, Bd. 2699, Seiten 304-309, XP002042503 ISSN 0277-786X, PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 1996, SPIE-INT. SOC. OPT. ENG, USA * Absatz 3 *	1	H01S3/06 H04B10/105
A	GILBERT R M: "Photobleaching of radiation-induced colour centres in a germania-doped glass fibre" IEEE ANNUAL CONFERENCE ON NUCLEAR AND SPACE RADIATION EFFECTS, LAS VEGAS, NV, USA, 20-22 JULY 1982, Bd. ns-29, Nr. 6, Seiten 1484-1488, XP002042458 ISSN 0018-9499, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, DEC. 1982, USA * Zusammenfassung *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) H01S H04B
A	MIYAZAKI T ET AL: "A high power Nd-doped double-clad fiber amplifier at 1.06 $\mu$ m" FREE-SPACE LASER COMMUNICATION TECHNOLOGIES VIII, SAN JOSE, CA, USA, 30-31 JAN. 1996, Bd. 2699, Seiten 254-265, XP002042504 ISSN 0277-786X, PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 1996, SPIE-INT. SOC. OPT. ENG, USA * Seite 261 *	1-3	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abchlußdatum der Recherche 23. September 1998	Prüfer Galanti, M
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : richtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/82 (P/C/C3)



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 98 10 5826

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D,A	DULING III I N ET AL: "SINGLE-POLARISATION FIBRE AMPLIFIER" ELECTRONICS LETTERS, Bd. 28, Nr. 12, Seiten 1126-1128, XP000304631 * Abbildung 1 *	1-3	
A	GB 2 267 006 A (ALCATEL ESPACE) 17. November 1993 * Zusammenfassung *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>DEN HAAG</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>23. September 1998</b>	Prüfer <b>Galanti, M</b>
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet  Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie  A : technologischer Hintergrund  O : mündliche Offenbarung  P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument  &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03/82 (P4/C03)